

# 6 Circuitos serie, paralelo y mixto

## Contenidos

- 6.1. Acoplamiento de receptores en serie
- 6.2. Acoplamiento de receptores en paralelo
- 6.3. Circuitos mixtos

## Objetivos

- Distinguir entre acoplamiento en serie y en paralelo.
- Realizar los cálculos precisos para resolver un circuito eléctrico con varias cargas conectadas entre sí.
- Medir las magnitudes en un circuito serie, paralelo y mixto e interpretar y relacionar sus resultados.
- Explicar cualitativamente los fenómenos derivados de una alteración en un elemento de un circuito eléctrico sencillo y describir las variaciones previstas en los valores de tensión y corriente.

El montaje de receptores en serie y paralelo ocupa un lugar especial dentro de la Electrotecnia. El cálculo de las magnitudes eléctricas que se dan en los circuitos, como tensión, intensidad, resistencia y potencia, depende de la forma en que están acoplados los receptores.

Por lo general, en la industria y en las viviendas, los receptores se instalan en paralelo. No obstante, en muchas ocasiones aparecen partes de la instalación que quedan interconectadas en serie, por lo que es muy importante realizar también un estudio detallado de esta forma de conexión.

### 6.1. Acoplamiento de receptores en serie

Acoplar varios receptores en serie consiste en ir conectando el terminal de salida de uno con el de entrada del otro, sucesivamente.

En el esquema de la Figura 6.1 se han representado tres resistencias ( $R_1, R_2, R_3$ ) conectadas en serie. Al cerrar el interruptor, el conjunto de estas tres resistencias quedará sometido a la tensión  $U$  del generador, lo que hará que surja una corriente eléctrica  $I$ , que se establecerá por todas las resistencias por igual, provocando en cada una de ellas las tensiones  $U_{AB}, U_{BC}$  y  $U_{CD}$ , respectivamente. De tal manera que la suma de dichas tensiones es igual a la aplicada al conjunto.

$$U = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

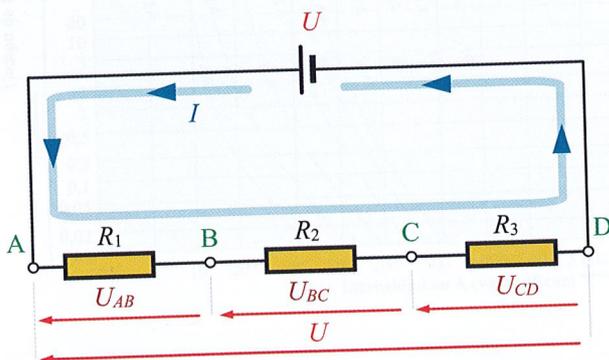


Figura 6.1. Circuito formado por tres resistencias en serie.

¿Por qué la intensidad que atraviesa todas las resistencias es la misma?

La corriente eléctrica es un flujo de electrones que, en este caso, se establece por el generador, el conductor y las tres resistencias. Como los electrones no se quedan acumulados en ningún punto del circuito, los mismos que entran por el terminal de una resistencia salen por otro terminal para, a continuación, entrar por el terminal de la siguiente resistencia, y así sucesivamente (Figura 6.2).

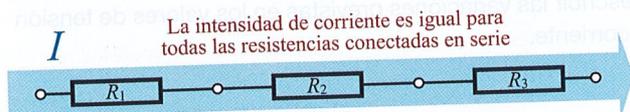


Figura 6.2. Corriente en un circuito en serie.

¿Por qué se reparte la tensión entre las resistencias?

La tensión que aparece entre dos puntos de un circuito surge gracias a la diferencia de cargas que existe entre los mismos. Sabemos que esta diferencia de cargas es la que

produce la fuerza que impulsa a moverse a los electrones de un punto a otro del circuito. En un circuito serie la fuerza que provoca la tensión del conjunto irá perdiendo su efecto al realizar sucesivos trabajos en los receptores conectados en serie, y producirá lo que se conoce como caída de tensión en cada uno de ellos. Lógicamente, cabe pensar que al ser igual la corriente para todos los receptores, necesitarán más fuerza de impulsión (más tensión) aquellos que tengan mayor resistencia eléctrica (Figura 6.3).

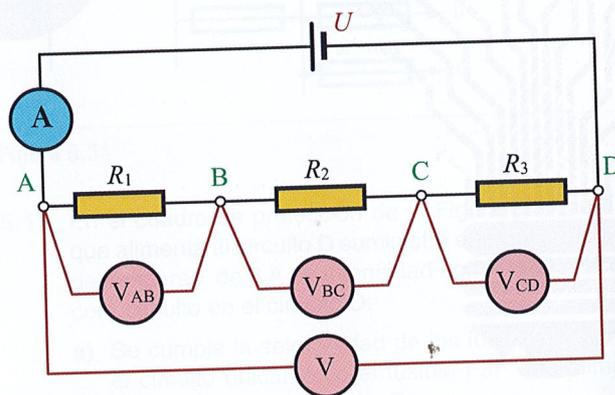


Figura 6.3. Tensiones en un circuito en serie.

¿Cómo se calculan estas caídas de tensión?

De la ley de Ohm tenemos que:  $U = R \cdot I$ .

**Nota importante:** La ley de Ohm siempre se aplica entre dos puntos concretos del circuito.

Así, por ejemplo, para determinar el valor de la tensión  $U_{AB}$ , habrá que aplicar esta ley entre los puntos A y B. Como entre estos puntos la resistencia es  $R_1$  y la corriente  $I$ , tendremos que:

$$U_{AB} = R_1 \cdot I$$

Por la misma razón:

$$U_{BC} = R_2 \cdot I$$

$$U_{CD} = R_3 \cdot I$$

Por otro lado, como  $U = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$  y sustituyendo los valores de  $U_{AB}, U_{BC}$  y  $U_{CD}$  en esta ecuación, nos queda la siguiente expresión:

$$U = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$$

operando:

$$U = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I$$

despejando  $I$ :

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (1)$$



Esta expresión indica que para calcular la intensidad que se establece en un circuito de resistencias en serie, basta con dividir la tensión total aplicada al circuito entre la suma de resistencias conectadas en serie.

**Resistencia total o equivalente ( $R_T$ ):** se denomina así a la resistencia que produce los mismos efectos que todo el conjunto de resistencias (Figura 6.4).

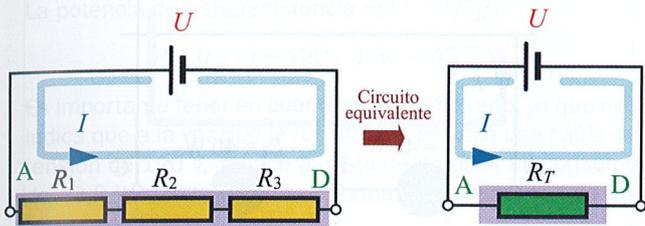


Figura 6.4. Resistencia total o equivalente.

En el circuito equivalente se cumple la ley de Ohm teniendo en cuenta toda la tensión y toda la resistencia:

$$\text{Luego: } I = \frac{U}{R_T} \quad (\text{II})$$

Si comparamos la expresión (I) y la (II) podemos deducir que la resistencia total o equivalente es igual a la suma de las resistencias de cada uno de los receptores:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

**Potencia eléctrica de cada receptor:** se aplica la expresión general de potencia eléctrica  $P = U \cdot I$ , teniendo en cuenta que, al igual que hicimos al aplicar la ley de Ohm, siempre se hace sobre los dos puntos concretos del circuito donde queremos calcular la potencia. De esta forma, tenemos que:

$$P_1 = U_{AB} \cdot I; \quad P_2 = U_{BC} \cdot I; \quad P_3 = U_{CD} \cdot I$$

La potencia total la calculamos sumando cada una de las potencias parciales:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

o empleando la expresión de potencia y aplicando la tensión total aplicada:

$$P_T = U \cdot I$$

En un circuito en serie la intensidad de corriente es igual para todas las resistencias y la tensión aplicada se reparte entre ellas.

## Actividad resuelta 6.1

Se conectan a una batería de acumuladores de 24 V dos resistencias en serie de  $20 \Omega$  y  $10 \Omega$ , respectivamente (Figura 6.5). Se quiere determinar la intensidad que recorre el circuito, la tensión a la que queda sometida cada resistencia, la potencia de cada una de las resistencias y la potencia total del circuito.

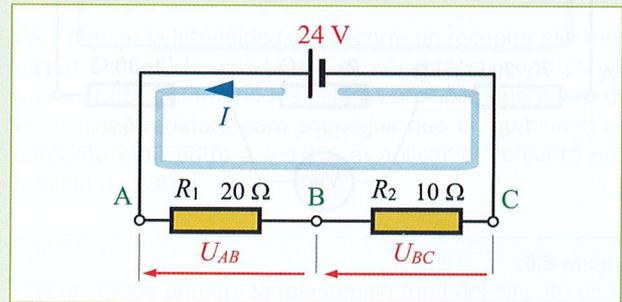


Figura 6.5.

### Solución:

Primero, calculamos la resistencia total:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots = 30 \Omega$$

La intensidad será entonces:

$$I = \frac{U}{R_T} = \dots = 0,8 \text{ A}$$

La tensión a la que queda sometida cada resistencia es:

$$U_{AB} = R_1 \cdot I = \dots = 16 \text{ V}$$

$$U_{BC} = \dots = \dots = 8 \text{ V}$$

Comprueba la igualdad:

$$U = U_{AB} + U_{BC} = \dots = 24 \text{ V}$$

La potencia de cada resistencia es:

$$P_1 = U_{AB} \cdot I = \dots = 12,8 \text{ W}$$

$$P_2 = \dots = \dots = 6,4 \text{ W}$$

La potencia total es:

$$P_T = U \cdot I = 24 \cdot 0,8 = 19,2 \text{ W}$$

Comprueba la igualdad:

$$P_T = P_1 + P_2 = \dots = 19,2 \text{ W}$$

## Actividad resuelta 6.2

En el circuito de la Figura 6.6, la tensión que se ha medido con un voltímetro en la resistencia  $R_2$  es de 100 V. Con

## 6. CIRCUITOS SERIE, PARALELO Y MIXTO

estos datos, calcula la intensidad de corriente por el circuito, así como la tensión y potencia de cada una de las resistencias y del conjunto.

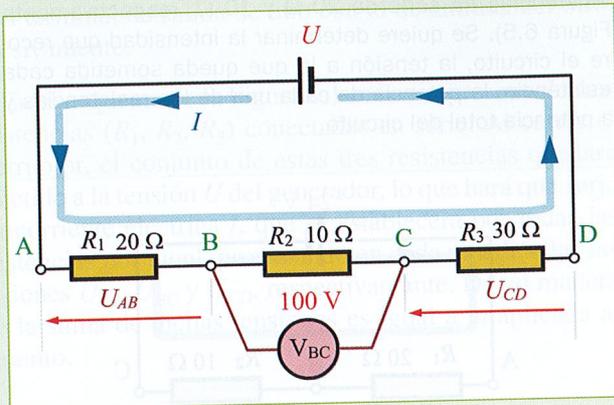


Figura 6.6.

### Solución:

Si aplicamos la ley de Ohm entre los puntos B y C, podemos calcular la intensidad de corriente por  $R_2$ :

$$I = \frac{U_{BC}}{R_2} = \dots = 10 \text{ A}$$

Como esta intensidad es igual para todas las resistencias conectadas en serie, la tensión a la que quedan sometidas el resto de las resistencias es:

$$U_{AB} = R_1 \cdot I = \dots = 200 \text{ V}$$

$$U_{CD} = \dots = \dots = 300 \text{ V}$$

La tensión total del circuito es entonces:

$$U = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = \dots = 600 \text{ V}$$

La potencia de cada resistencia y del conjunto es:

$$P_1 = U_{AB} \cdot I = 200 \cdot 10 = 2.000 \text{ W}$$

$$P_2 = \dots = \dots = 1.000 \text{ W}$$

$$P_3 = \dots = \dots = 3.000 \text{ W}$$

$$P_T = U \cdot I = 600 \cdot 10 = 6.000 \text{ W}$$

Comprueba la igualdad:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \dots = 6.000 \text{ W}$$

### Actividad resuelta 6.3

Se desea aprovechar unas lámparas de 115 V/40 W para conectarlas a una red de 230 V. ¿Cuántas lámparas será necesario montar en serie? ¿Qué intensidad recorrerá el circuito? ¿Cuál será la potencia total consumida por el conjunto de lámparas? ¿Cuál será la resistencia de cada lámpara y la equivalente al conjunto de las mismas?

### Solución:

Como todas las lámparas son iguales y de la misma tensión, el número que hay que conectar en serie será (Figura 6.7):

$$\frac{230 \text{ V}}{115 \text{ V}} = 2 \text{ lámparas}$$

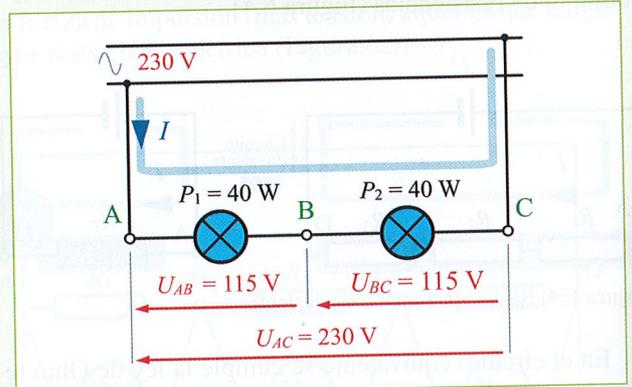


Figura 6.7.

La potencia total será:  $P_T = 2 \cdot 40 = 80 \text{ W}$ .

La intensidad la podemos calcular así:  $P_T = U \cdot I$ ; despejando:

$$I = \frac{P_T}{U} = \frac{80}{230} = 0,35 \text{ A}$$

Como todas las lámparas son iguales, sus resistencias también lo serán.

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{115}{0,35} = 328,6 \Omega$$

$$R_T = 328,6 + 328,6 = 657,2 \Omega$$

### Actividad resuelta 6.4

Para que una lámpara incandescente de 110 V/40 W no se funda al conectarla a una red de 230 V se le conecta una resistencia en serie. Calcula el valor óhmico de esta resistencia, así como su potencia.

### Solución:

Lo más importante para resolver este tipo de problemas es dibujar un esquema eléctrico donde se puedan ver las diferentes magnitudes del circuito eléctrico, como, por ejemplo, el que se muestra en la Figura 6.8.

Se puede deducir fácilmente que la tensión a la que debe quedar la resistencia es  $U_{AB} = 230 - 110 = 120 \text{ V}$ .

Aplicando la expresión de la potencia entre los bornes de la lámpara (puntos B y C) determinamos la intensidad del circuito:



$$I = \frac{P_L}{U_{BC}} = \frac{40}{110} = 0,36 \text{ A}$$

Si aplicamos ahora la ley de Ohm entre los extremos de la resistencia (puntos A y B) calculamos su valor óhmico.

$$R = \frac{U_{AB}}{I} = \frac{120}{0,36} = 333 \Omega$$

La potencia de esta resistencia es:

$$P = U_{AB} \cdot I = 120 \cdot 0,36 = 43,2 \text{ W}$$

Es importante tener en cuenta este último dato, ya que nos indica que a la vez que la resistencia provoca una caída de tensión de 120 V, lo hace a costa de producir un consumo de 43,2 W, que se disipa en forma de calor como una potencia perdida.

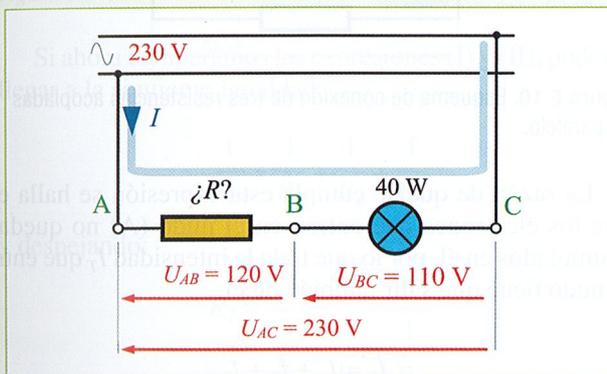


Figura 6.8.

### 6.1.1. Aplicaciones prácticas del acoplamiento en serie

En algunas instalaciones de iluminación, como por ejemplo las luces de un árbol de navidad, se conectan las lámparas en serie. El principal inconveniente que se presenta es que cuando se funde una lámpara el circuito se interrumpe y, por tanto, dejan de lucir todas las demás.

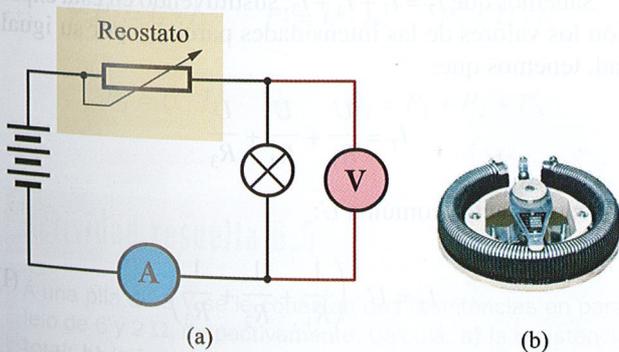


Figura 6.9. (a) Al colocar una resistencia variable en serie con un receptor se consigue regular la intensidad, tensión y potencia de aquel. (b) Reostato toroidal.

Otra aplicación consiste en la construcción de *reostatos*. Estos son resistencias variables que al ser acopladas en serie con un receptor provocan una caída de tensión que se modifica al variar la resistencia del reostato, con lo que se consigue regular la intensidad, tensión y potencia de dicho receptor (Figura 6.9).

### Actividad resuelta 6.5

Para regular la intensidad que recorre un receptor eléctrico de 10 ohmios de resistencia se conecta en serie con él un reostato. Determina los valores óhmicos que habrá de tener dicho reostato para conseguir que la intensidad de corriente esté entre 1 y 10 A al aplicar al conjunto una tensión de 230 V.

#### Solución:

Calcularemos primero la resistencia total del circuito serie formado por la resistencia  $R$  del receptor y  $R_r$  del reostato para que la corriente sea de 1 A al aplicar 230 V:

$$I = \frac{U}{R_T}, \text{ despejando } R_T = \frac{U}{I} = \frac{230}{1} = 230 \Omega$$

Como  $R_T = R + R_r$ , despejando:

$$R_r = R_T - R = 230 - 10 = 220 \Omega$$

Para la corriente de 10 A tendremos que:

$$R_T = \frac{230}{10} = 23 \Omega \quad R_r = 23 - 10 = 13 \Omega$$

Por lo que el reostato deberá regular su resistencia entre 13 y 220  $\Omega$ .

La tensión y potencia que se dan en el receptor  $R$  entre estos dos valores será:

a) Para  $I = 1 \text{ A}$

$$U_R = R \cdot I = 10 \cdot 1 = 10 \text{ V}$$

$$P_R = U_R \cdot I = 10 \cdot 1 = 10 \text{ W}$$

b) Para  $I = 10 \text{ A}$

$$U_R = R \cdot I = 10 \cdot 10 = 100 \text{ V}$$

$$P_R = U_R \cdot I = 100 \cdot 10 = 1.000 \text{ W}$$

Por otro lado, al pasar corriente por el reostato este produce una potencia  $P_r$ , que se pierde en forma de calor, y que será:

a) Para  $I = 1 \text{ A}$ :  $P_r = R_r \cdot I^2 = 220 \cdot 1^2 = 220 \text{ W}$

b) Para  $I = 10 \text{ A}$ :  $P_r = R_r \cdot I^2 = 13 \cdot 10^2 = 1.300 \text{ W}$

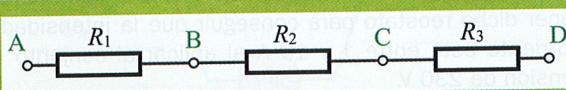
De este ejemplo se puede deducir que el reostato no es muy buena solución para regular corrientes de carga considerables, dada la elevada potencia perdida que se desarrolla en él. En la práctica, hoy solo se emplean reostatos o resistencias variables en los circuitos en que las corrientes son muy pequeñas (del orden de algunos miliamperios), como

es el caso de los potenciómetros, resistencias ajustables, etc., en aplicaciones de circuitos electrónicos. Las nuevas tecnologías han encontrado medios más eficaces de regulación a base de semiconductores.

### Actividad propuesta 6.1

En la Tabla 6.1 aparecen los datos de seis circuitos diferentes donde se conectan tres resistencias en serie. Averigua las magnitudes desconocidas.

Tabla 6.1.



Ejercicio	1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º
$R_1$ ( $\Omega$ )	100	4	?	?	?	?
$R_2$ ( $\Omega$ )	50	6	5	?	100	?
$R_3$ ( $\Omega$ )	200	?	?	?	?	10
$U_{AB}$ (V)	?	?	?	?	?	20
$U_{BC}$ (V)	?	?	?	10	10	50
$U_{CD}$ (V)	?	?	?	10	?	?
$P_1$ (W)	?	?	10	10	5	?
$P_2$ (W)	?	?	?	?	?	?
$P_3$ (W)	?	?	?	?	?	?
$R_T$ ( $\Omega$ )	?	?	?	?	?	?
$U_T$ (V)	250	10	20	?	100	200
$I_T$ (A)	?	0,5	1	10	?	?
$P_T$ (W)	?	?	?	?	?	?



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

## 6.2. Acoplamiento de receptores en paralelo

Acoplar varios receptores en paralelo (o derivación) es conectar los terminales de dichos receptores entre sí, tal como se muestra en la Figura 6.10.

En el esquema de la Figura 6.10 las resistencias están conectadas a los mismos puntos A y B.

El montaje de receptores en paralelo se caracteriza porque todos ellos están sometidos a la misma tensión ( $U = U_{AB}$ ).

El generador suministra una corriente  $I_T$  que se reparte por cada una de las resistencias:  $I_1$  por  $R_1$ ,  $I_2$  por  $R_2$  e  $I_3$  por  $R_3$ . Se cumple que la corriente suministrada al circuito ( $I_T$ ) es igual a la suma de corrientes ( $I_1, I_2, I_3$ ) que fluyen por cada uno de los receptores conectados en paralelo.

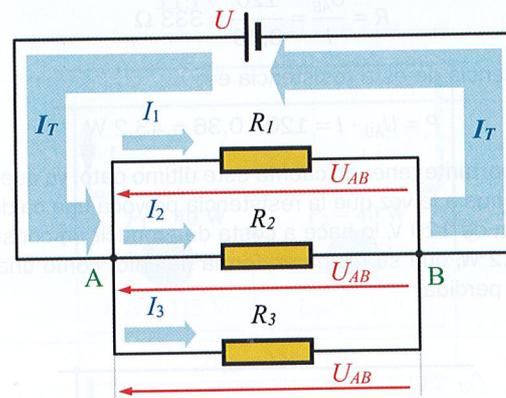


Figura 6.10. Esquema de conexión de tres resistencias acopladas en paralelo.

La razón de que se cumpla esta expresión se halla en que los electrones que entran en el nudo (A) no quedan acumulados en él, por lo que toda la intensidad  $I_T$  que entra al nudo tiene que salir también de él.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

Para calcular las intensidades  $I_1, I_2$  e  $I_3$  basta con aplicar la ley de Ohm entre los puntos A y B y en cada una de las resistencias correspondientes.

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$

¿Cómo se determina la resistencia total o equivalente?

Sabemos que  $I_T = I_1 + I_2 + I_3$ ; sustituyendo en esta expresión los valores de las intensidades parciales por su igualdad, tenemos que:

$$I_T = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

y sacando factor común a  $U$ :

$$I_T = U \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad (1)$$

Por otro lado, sabemos que para calcular la corriente eléctrica que suministra el generador al conjunto del circuito, tendremos que tener en cuenta la resistencia equivalente



( $R_T$ ), que es la que produce los mismos efectos que todas las resistencias acopladas en paralelo (Figura 6.11).

$$I_T = \frac{U}{R_T} \quad (\text{II})$$

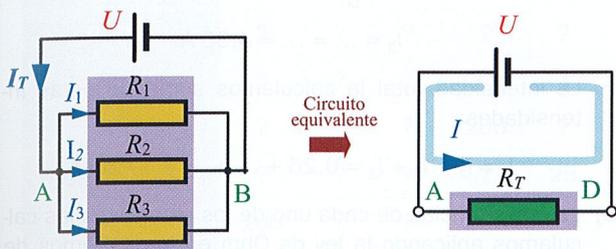


Figura 6.11. Resistencia total o equivalente.

Si ahora comparamos las expresiones (I) y (II), podemos llegar a la siguiente igualdad:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

y despejando:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Para un número  $n$  de resistencias la expresión quedaría así:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Para calcular las potencias se opera como ya conocemos:

$$P_1 = U \cdot I_1; \quad P_2 = U \cdot I_2; \quad P_3 = U \cdot I_3$$

$$P_T = U \cdot I_T \quad \text{o} \quad P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

### Actividad resuelta 6.6

A una pila de 9 V se le conectan dos resistencias en paralelo de 6 y 2  $\Omega$ , respectivamente. Calcula: **a)** la resistencia total; **b)** la intensidad de cada resistencia y del conjunto; **c)** la potencia de cada una, así como la total cedida por la pila (Figura 6.12).

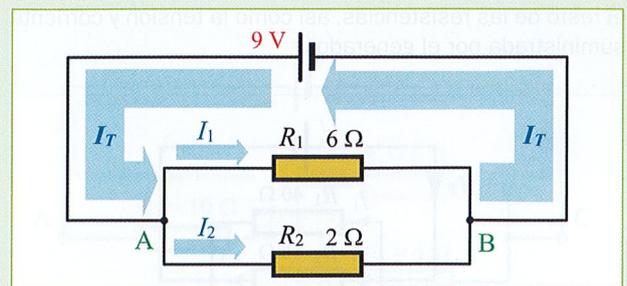


Figura 6.12.

Solución:

$$\text{a) } R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{1+3}{6}} = \frac{6}{4} = 1,5 \Omega$$

**Nota:** Para sumar las fracciones  $1/6 + 1/2$  se las ha reducido al mismo denominador.

Es importante señalar que la resistencia total o equivalente da como resultado un valor inferior a la más pequeña de las resistencias conectadas en paralelo. Este resultado es el esperado, ya que cuantos más circuitos derivados existan, habrá también más caminos por donde pueda pasar la corriente eléctrica y, por tanto, menos dificultad para el establecimiento de la intensidad total.

$$\text{b) } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{9}{6} = 1,5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \dots = 4,5 \text{ A}$$

$$I_T = \frac{U}{R_T} = \frac{9}{1,5} = 6 \text{ A}$$

Comprueba si el resultado obtenido al calcular la intensidad total es el mismo que sumando las intensidades:

$$I_T = I_1 + I_2 = \dots + \dots = 6 \text{ A}$$

$$\text{c) } P_1 = U \cdot I_1 = 9 \cdot 1,5 = 13,5 \text{ W}$$

$$P_2 = \dots = \dots = 40,5 \text{ W}$$

$$P_T = U \cdot I_T = 9 \cdot 6 = 54 \text{ W}$$

Comprueba si se obtiene el mismo resultado empleando la expresión:

$$P_T = P_1 + P_2 = \dots + \dots = 54 \text{ W}$$

### Actividad resuelta 6.7

En el circuito de la Figura 6.13 la intensidad de corriente que se ha medido con un amperímetro en la resistencia  $R_2$  es de 2 A. Con estos datos, calcula la intensidad de corriente por

## 6. CIRCUITOS SERIE, PARALELO Y MIXTO

el resto de las resistencias, así como la tensión y corriente suministrada por el generador.

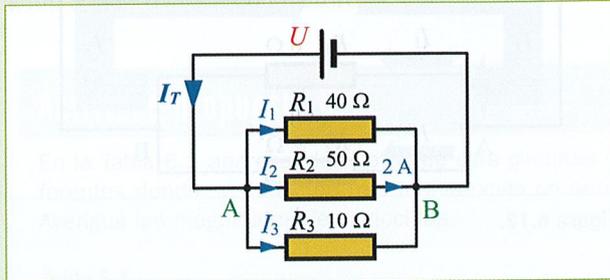


Figura 6.13.

### Solución:

Si aplicamos la ley de Ohm en la resistencia  $R_2$  podremos calcular la tensión a la que está sometida:

$$U_{AB} = R_2 \cdot I_2 = 50 \cdot 2 = 100 \text{ V} = U$$

Como esta tensión es la que está aplicada a las demás resistencias que están conectadas en paralelo:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{100}{40} = 2,5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \dots = 10 \text{ A}$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = \dots + \dots = 14,5 \text{ A}$$

## Actividad resuelta 6.8

Una línea eléctrica de 230 V alimenta a los siguientes receptores: una lámpara incandescente de 60 W, una cocina eléctrica de 3 kW y una estufa de 1 kW (Figura 6.14). Calcula: **a)** intensidad que absorbe cada receptor de la red; **b)** resistencia de cada receptor; **c)** resistencia total.

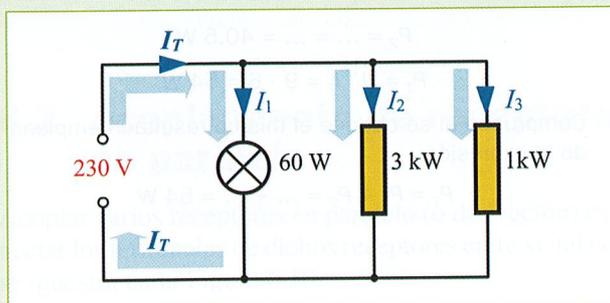


Figura 6.14.

### Solución:

**a)** Como todos los receptores están sometidos a la misma tensión, se trata de un montaje en paralelo.

Como conocemos la potencia de cada receptor y la tensión a la que están sometidos, es fácil calcular la intensidad de cada uno.

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{60}{230} = 0,26 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U} = \dots = 13,04 \text{ A}$$

$$I_3 = \dots = \dots = 4,35 \text{ A}$$

La intensidad total la calculamos sumando estas intensidades:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 0,26 + \dots + \dots = 17,65 \text{ A}$$

**b)** Las resistencias de cada uno de los receptores las calculamos aplicando la ley de Ohm en los extremos de cada uno de aquellos:

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{230}{0,26} = 884,6 \Omega$$

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \dots = 17,6 \Omega$$

$$R_3 = \dots = \dots = 52,9 \Omega$$

**c)** Como ya conocemos la intensidad total, para calcular la resistencia total o equivalente nos valdremos de la expresión:

$$R_T = \frac{U}{I_T} = \frac{230}{17,65} = 13 \Omega$$

Comprueba el resultado aplicando la expresión:

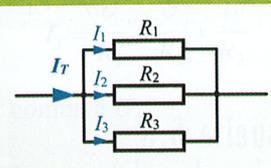
$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

## Actividad propuesta 6.2

En la Tabla 6.2 aparecen los datos de cinco circuitos diferentes donde se conectan tres resistencias en paralelo. Averigua las magnitudes desconocidas.

Tabla 6.2.

Ejercicio	1.º	2.º	3.º	4.º	5.º
$R_1 (\Omega)$	10	4	?	10	?
$R_2 (\Omega)$	30	6	10	?	?





Ejercicio	1.º	2.º	3.º	4.º	5.º
$R_3$ ( $\Omega$ )	90	12	?	?	?
$I_1$ (A)	?	2	4	?	?
$I_2$ (A)	?	?	?	0,5	2
$I_3$ (A)	?	?	1	?	1
$P_1$ (W)	?	?	?	?	?
$P_2$ (W)	?	?	?	?	?
$P_3$ (W)	?	?	?	200	?
$R_T$ ( $\Omega$ )	?	?	?	?	25
$U_T$ (V)	100	?	?	200	?
$I_T$ (A)	?	?	10	?	4



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

### 6.3. Circuitos mixtos

Al igual que es posible conectar receptores en serie o en paralelo, en ocasiones pueden aparecer circuitos con receptores acoplados en serie mezclados con receptores acoplados en paralelo. Estos circuitos son los denominados mixtos. En la Figura 6.15 se muestra un ejemplo de ellos. Aquí las resistencias  $R_2$  y  $R_3$  están claramente conectadas en paralelo entre sí y, a su vez, su resistencia equivalente se conecta en serie con  $R_1$ .

Para resolver este tipo de ejercicios hay que seguir los siguientes pasos:

- Reducir a su circuito equivalente aquellas partes del circuito que estén claramente acopladas, bien en serie o en paralelo.
- Dibujar sucesivamente los nuevos circuitos equivalentes obtenidos, indicando las magnitudes conocidas y desconocidas.
- Calcular las magnitudes desconocidas del circuito desde los circuitos equivalentes más reducidos hasta el circuito original.

#### Actividad resuelta 6.9

Determina las tensiones, potencias e intensidades de cada una de las resistencias del circuito mixto de la Figura 6.15 si aplicamos entre los extremos AC del circuito una tensión de 24,8 V.

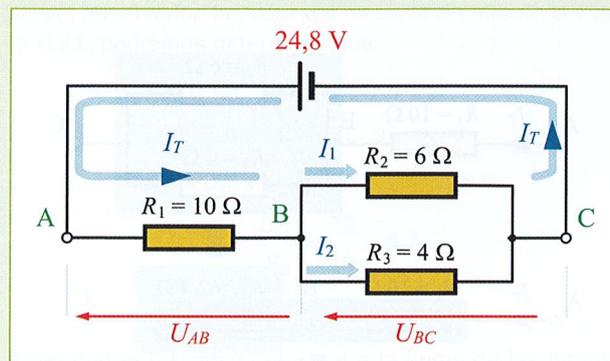


Figura 6.15. Receptores acoplados en montaje mixto.

#### Solución:

Como  $R_2$  y  $R_3$  están claramente conectadas en paralelo, determinamos su resistencia equivalente que llamamos  $R_{23}$ :

$$R_{23} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6 \cdot 4}{6 + 4} = 2,4 \Omega$$

Ahora dibujamos el circuito equivalente al anterior, en el que se han sustituido  $R_2$  y  $R_3$  por  $R_{23}$  (Figura 6.16). Observa que  $R_1$  y  $R_{23}$  están conectados en serie.

$$R_T = R_1 + R_{23} = 10 + 2,4 = 12,4 \Omega$$

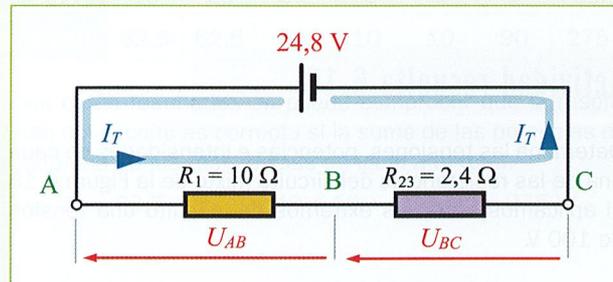


Figura 6.16.

Una vez reducidas todas las resistencias a su equivalente  $R_T$ , dibujamos el circuito final de la Figura 6.17 y calculamos con él la intensidad total del circuito.

$$I_T = \frac{U}{R_T} = \frac{24,8}{12,4} = 2 \text{ A}$$

Aplicando la ley de Ohm en el circuito equivalente de la Figura 6.16 obtenemos las tensiones  $U_{AB}$  y  $U_{BC}$ :

$$U_{AB} = R_1 \cdot I_T = 10 \cdot 2 = 20 \text{ V}$$

$$U_{BC} = R_{23} \cdot I_T = 2,4 \cdot 2 = 4,8 \text{ V}$$

Una vez obtenidas estas tensiones, podemos calcular las intensidades  $I_1$  e  $I_2$  aplicando la ley de Ohm en el circuito original de la Figura 6.15.

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{20}{10} = 2 \text{ A}, \quad I_2 = \frac{U_{BC}}{R_2} = \frac{4,8}{6} = 0,8 \text{ A}$$

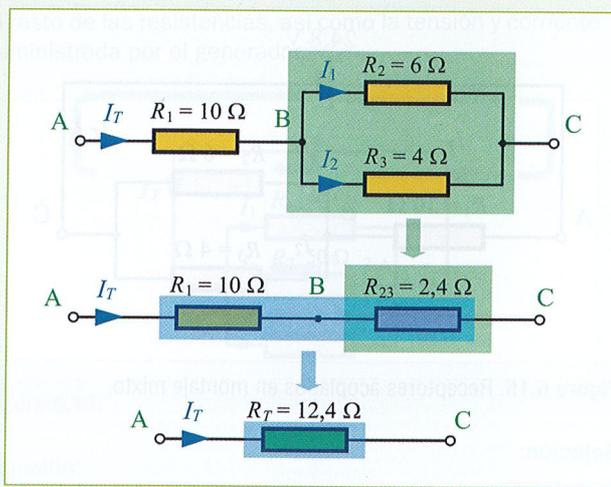


Figura 6.17.

Por último indicamos la tensión, intensidad y potencia ( $P = U \cdot I$ ) que le corresponde a cada una de las resistencias:

$R_1$ : (20 V); (2 A);	$P_1 = 20 \cdot 2 = 40 \text{ W}$
$R_2$ : (4,8 V); (0,8 A);	$P_2 = 4,8 \cdot 0,8 = 3,84 \text{ W}$
$R_3$ : (4,8 V); (1,2 A);	$P_3 = 4,8 \cdot 1,2 = 5,76 \text{ W}$
$R_T$ : (24,8 V); (2 A);	$P_T = 24,8 \cdot 2 = 49,6 \text{ W}$

### Actividad resuelta 6.10

Determina las tensiones, potencias e intensidades de cada una de las resistencias del circuito mixto de la Figura 6.18 si aplicamos entre los extremos del circuito una tensión de 100 V.

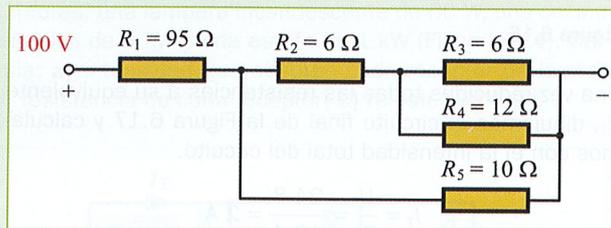


Figura 6.18.

**Solución:**

En la Figura 6.19 se expone cómo se reduce el circuito hasta llegar a la resistencia equivalente.

Hacemos los cálculos así:

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{6 \cdot 12}{6 + 12} = 4 \Omega$$

$$R_{234} = R_2 + R_{34} = 6 + 4 = 10 \Omega$$

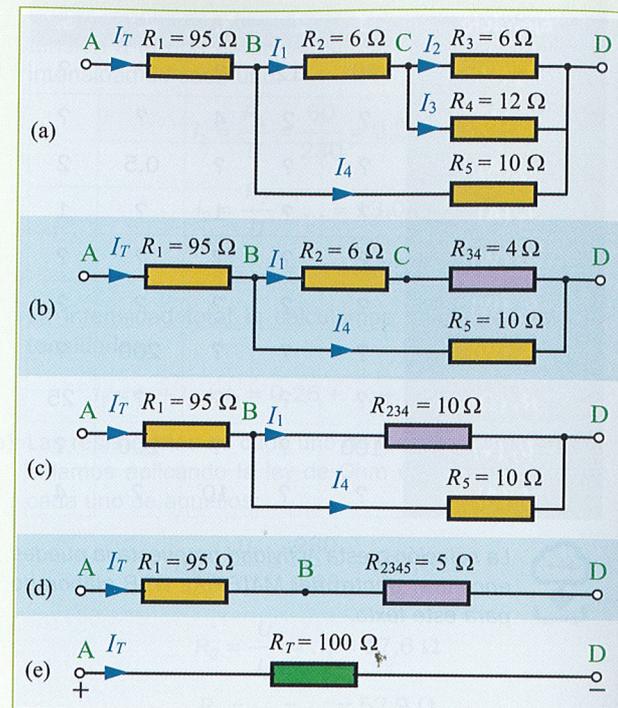


Figura 6.19.

$$R_{2345} = \frac{R_{234} \cdot R_5}{R_{234} + R_5} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_{2345} = 95 + 5 = 100 \Omega$$

$$I_T = \frac{U}{R_T} = \frac{100}{100} = 1 \text{ A}$$

En el circuito de la Figura 6.19(d):

$$U_{AB} = R_1 \cdot I_T = 95 \cdot 1 = 95 \text{ V}$$

$$U_{BD} = R_{2345} \cdot I_T = 5 \cdot 1 = 5 \text{ V}$$

En el circuito de la Figura 6.19(c):

$$I_1 = \frac{U_{BD}}{R_{234}} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_{BD}}{R_5} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ A}$$

En el circuito de la Figura 6.19(b):

$$U_{BC} = R_2 \cdot I_1 = 6 \cdot 0,5 = 3 \text{ V}$$

$$U_{CD} = R_{34} \cdot I_1 = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ V}$$

En el circuito de la Figura 6.19(a):

$$I_2 = \frac{U_{CD}}{R_3} = \frac{2}{6} = 0,33 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{CD}}{R_4} = \frac{2}{12} = 0,17 \text{ A}$$



Por último indicamos la tensión, intensidad y potencia ( $P = U \cdot I$ ) que le corresponde a cada una de las resistencias:

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_T$
$I$ (A)	1	0,5	0,33	0,17	0,5	1
$U$ (V)	95	3	2	2	5	100
$P$ (W)	95	1,5	0,66	0,4	2,5	100

Con estos resultados se puede comprobar que la resolución del circuito es correcta si la suma de las potencias de cada una de las resistencias es igual a la total.

$$P_T = 95 + 1,5 + 0,66 + 0,4 + 2,5 = 100 \text{ W}$$

### Actividad resuelta 6.11

Determina las magnitudes desconocidas ( $I$ ,  $U$ ,  $P$ ) de cada una de las resistencias del circuito de la Figura 6.20, así como la tensión total aplicada al conjunto de las mismas, si todas las resistencias poseen el mismo valor ( $10 \Omega$ ) y la tensión medida en los extremos de  $R_5$  es de 10 V.

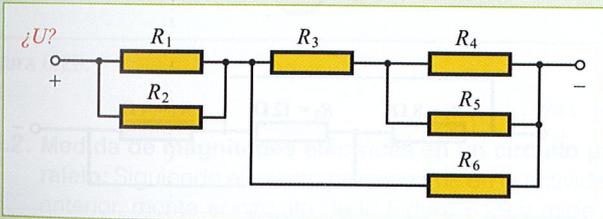


Figura 6.20.

#### Solución:

Lo primero que hacemos es marcar los diferentes puntos de conexión e identificar las diferentes intensidades de corriente por el circuito, tal como se muestra en la Figura 6.21.

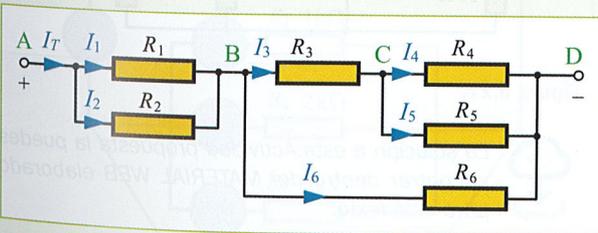


Figura 6.21.

La intensidad por  $R_5$  será:

$$I_5 = \frac{U_{CD}}{R_5} = \frac{10}{10} = 1 \text{ A}$$

Dado que la tensión por  $R_4$  es la misma que en  $R_5$ , también lo será su intensidad ( $I_4 = 1 \text{ A}$ ).

Ahora, observando las conexiones en el circuito de la Figura 6.21, podremos determinar que:

$$I_3 = I_4 + I_5 = 1 + 1 = 2 \text{ A}$$

$$U_{BC} = R_3 \cdot I_3 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ V}$$

$$U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = 20 + 10 = 30 \text{ V}$$

$$I_6 = \frac{U_{BD}}{R_6} = \frac{30}{10} = 3 \text{ A}$$

$$I_T = I_3 + I_6 = 2 + 3 = 5 \text{ A}$$

Dado que la  $I_T$  también es igual a la suma de las intensidades por  $R_1$  y  $R_2$ , y que estas poseen el mismo valor por tener la misma tensión, al estar acopladas en paralelo, su valor será de:

$$I_1 = I_2 = I_T / 2 = 5 / 2 = 2,5 \text{ A}$$

$$U_{AB} = R_1 \cdot I_1 = 10 \cdot 2,5 = 25 \text{ V}$$

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = 25 + 20 + 10 = 55 \text{ V}$$

Por último indicamos la tensión, intensidad y potencia ( $P = U \cdot I$ ) que le corresponde a cada una de las resistencias en el siguiente cuadro:

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_T$
$I$ (A)	2,5	2,5	2	10	10	30	5
$U$ (V)	25	25	20	1	1	3	55
$P$ (W)	62,5	62,5	40	10	10	90	275

Con estos resultados se puede comprobar que la resolución del circuito es correcta si la suma de las potencias de cada una de las resistencias es igual a la total.

$$P_T = 62,5 + 62,5 + 40 + 10 + 10 + 90 = 275 \text{ W}$$

### Actividad resuelta 6.12

Determina las magnitudes desconocidas ( $I$ ,  $U$ ,  $P$ ) de cada una de las resistencias del circuito de la Figura 6.22 si la intensidad de corriente que fluye por  $R_3$  es de 1 A.

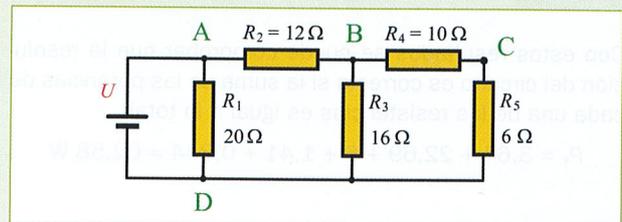


Figura 6.22

#### Solución:

Con el objeto de que el circuito sea más fácil de analizar, volvemos a dibujar el mismo con las resistencias situadas

## 6. CIRCUITOS SERIE, PARALELO Y MIXTO

en horizontal y marcamos las diferentes intensidades de corriente (Figura 6.23).

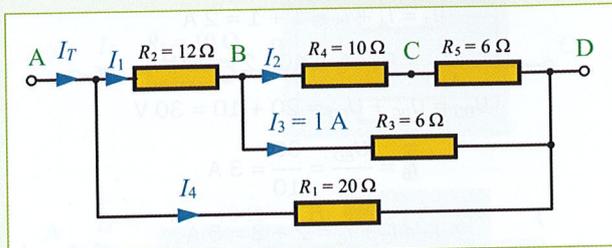


Figura 6.23.

Procedemos ahora a la resolución del circuito poniendo mucha atención a las conexiones del circuito de la Figura 6.23.

$$U_{BD} = R_3 \cdot I_3 = 6 \cdot 1 = 6 \text{ V}$$

$$R_{45} = R_4 + R_5 = 10 + 6 = 16 \text{ } \Omega$$

$$I_2 = \frac{U_{BD}}{R_{45}} = \frac{6}{16} = 0,375 \text{ A}$$

$$U_{BC} = R_4 \cdot I_2 = 10 \cdot 0,375 = 3,75 \text{ V}$$

$$U_{CD} = R_5 \cdot I_2 = 6 \cdot 0,375 = 2,25 \text{ V}$$

$$I_1 = I_2 + I_3 = 0,375 + 1 = 1,375 \text{ A}$$

$$U_{AB} = R_2 \cdot I_1 = 12 \cdot 1,375 = 16,5 \text{ V}$$

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = 16,5 + 3,75 + 2,25 = 22,5 \text{ V}$$

$$I_4 = \frac{U_{AD}}{R_1} = \frac{22,5}{16} = 1,406 \text{ A}$$

$$I_T = I_1 + I_4 = 1,375 + 1,406 = 2,781 \text{ A}$$

Por último indicamos la tensión, intensidad y potencia ( $P = U \cdot I$ ) que le corresponde a cada una de las resistencias en el siguiente cuadro:

	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_T$
$I$ (A)	1,406	1,375	1	0,375	0,375	2,781
$U$ (V)	22,5	16,5	6	3,75	2,25	22,5
$P$ (W)	31,64	22,69	6	1,41	0,844	62,57

Con estos resultados se puede comprobar que la resolución del circuito es correcta si la suma de las potencias de cada una de las resistencias es igual a la total.

$$P_T = 3,64 + 22,69 + 6 + 1,41 + 0,844 = 62,58 \text{ W}$$

## Actividad propuesta 6.3

Determina las magnitudes desconocidas ( $I$ ,  $U$ ,  $P$ ) de cada una de las resistencias de los circuitos de las Figuras 6.24, 6.25, 6.26 y 6.27.

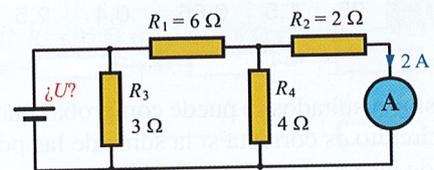


Figura 6.24.

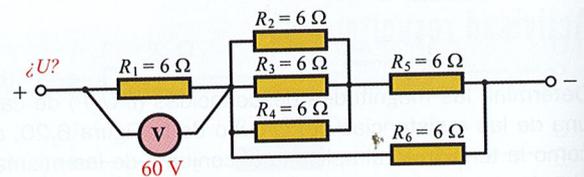


Figura 6.25.

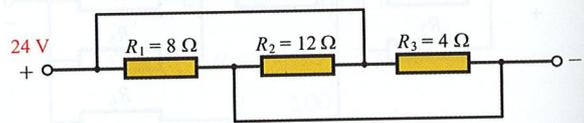


Figura 6.26.

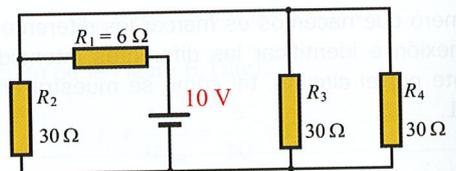


Figura 6.27.



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

## Comprobación práctica en el laboratorio

- 6.1. Medida de magnitudes eléctricas en un circuito en serie.** Monta en el entrenador didáctico el circuito de la Figura 6.28. Con el polímetro, mide la intensidad de la corriente por el circuito, así como la tensión que aparece en cada una de las resistencias y la que proporciona la fuente de alimentación. Comprueba que la suma de las tensiones de cada una de las resistencias da como resultado la tensión total aplicada por la fuente.

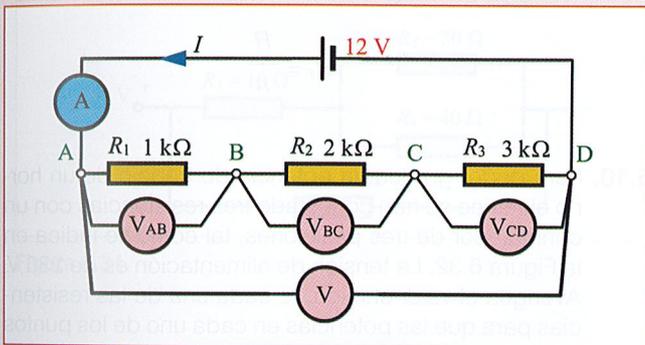


Figura 6.28.

- 6.2. Medida de magnitudes eléctricas en un circuito paralelo:** Siguiendo el mismo proceso que en la actividad anterior, monta el circuito de la Figura 6.29 y mide la tensión y la corriente de cada una de las resistencias. Comprueba que la corriente que suministra la fuente se corresponde con la suma de las corrientes de cada resistencia.

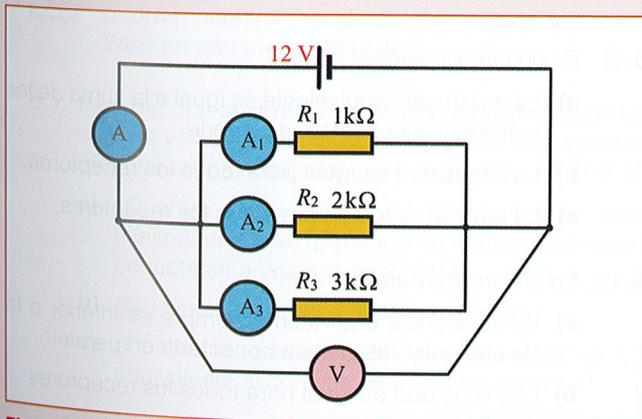


Figura 6.29.

- 6.3. Medida de magnitudes en un circuito mixto.** Consigue una placa de montaje rápido (Figura 6.30) y monta el circuito mixto de la Figura 6.31. Calcula de forma teórica las diferentes tensiones que aparecen en cada una de las resistencias, para luego comprobarlo de forma práctica midiéndolas con un voltímetro en el circuito montado.

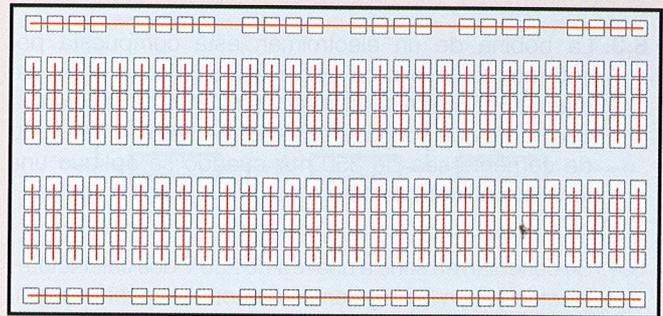


Figura 6.30. Conexiones internas de placa protoboard.

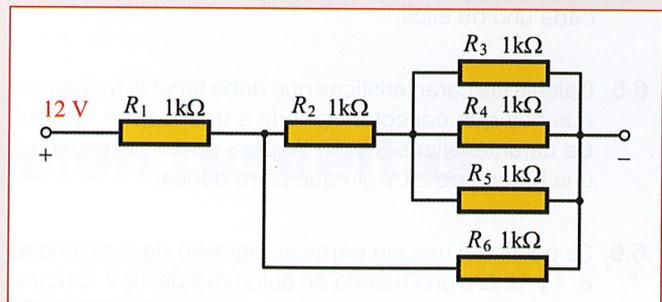


Figura 6.31.

## Actividades de comprobación

**6.1.** Se conectan en serie tres resistencias de  $200\ \Omega$ ,  $140\ \Omega$ , y  $120\ \Omega$  a una red de  $230\ \text{V}$ . Determina la intensidad, tensiones y potencias de cada una, así como la potencia total y la resistencia total.

**6.2.** Se conectan tres resistencias en serie de  $10\ \Omega$ ,  $5\ \Omega$  y  $6\ \Omega$  a una fuente de alimentación. La caída de tensión en la resistencia de  $5\ \Omega$  es de  $5\ \text{V}$ . ¿Cuál es la tensión de la fuente de alimentación?

**6.3.** La bobina de un electroimán está compuesta por  $150$  metros de hilo de cobre esmaltado de  $1\ \text{mm}$  de diámetro. Determina el valor óhmico de la resistencia que habrá que conectar en serie para que la intensidad de corriente sea de  $350\ \text{mA}$  cuando se aplique una tensión continua de  $12\ \text{V}$ .

**6.4.** Se conectan en serie a una red de  $230\ \text{V}$  dos calefactores eléctricos con las siguientes características: número 1,  $500\ \text{W}/230\ \text{V}$ ; número 2,  $750\ \text{W}/230\ \text{V}$ . Determina la resistencia total y de cada uno, la corriente por el circuito, así como la tensión y potencia de funcionamiento de cada uno de ellos.

**6.5.** Calcula las características que debe tener la resistencia que hay que conectar en serie a un receptor resistivo de características  $9\ \text{V}/10\ \text{W}$  para poder conectarlo a una batería de  $24\ \text{V}$  sin que sufra daños.

**6.6.** Se conectan tres lámparas en paralelo de resistencias  $6$ ,  $4$  y  $12\ \Omega$  a una batería de automóvil de  $12\ \text{V}$ . Calcula:

- La resistencia y potencia total.
- Corrientes parciales y corriente total.

**6.7.** Una instalación consta de cuatro lámparas, de potencias  $25$ ,  $40$ ,  $60$  y  $100\ \text{W}$ , respectivamente, conectadas en paralelo y alimentadas a  $230\ \text{V}$ . Determina la resistencia total y la intensidad total del circuito.

**6.8.** Dos resistencias en paralelo dan como resultado  $3$  ohmios. Determina una sabiendo que la otra vale  $12$  ohmios.

**Nota:** Esta actividad se puede resolver aplicando la expresión particular para el caso de solo dos resistencias conectadas en paralelo:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

**6.9.** Se conectan  $20$  resistencias de  $1\ \text{k}\Omega$ , cada una en paralelo a una fuente de alimentación de  $500$  voltios. Averigua:

- Resistencia equivalente.
- Intensidad por cada resistencia e intensidad total.
- Potencia de cada resistencia y potencia total.

**Nota:** Esta actividad se puede resolver aplicando la expresión particular para el caso de un número  $n$  de resistencias iguales de valor  $R$  conectadas en paralelo:

$$R_T = \frac{R}{n}$$

**6.10.** Para poder graduar la potencia de trabajo de un horno eléctrico se han conectado tres resistencias con un conmutador de tres posiciones, tal como se indica en la Figura 6.32. La tensión de alimentación es de  $230\ \text{V}$ . Averigua el valor óhmico de cada una de las resistencias para que las potencias en cada uno de los puntos de dicho conmutador sean las siguientes: punto (1),  $1.000\ \text{W}$ ; punto (2),  $2.000\ \text{W}$ , y punto (3),  $3.000\ \text{W}$ .

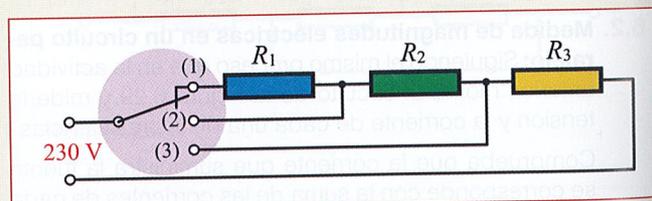


Figura 6.32.

**6.11.** En un circuito serie:

- La resistencia equivalente es igual a la suma de las resistencias conectadas en serie.
- La intensidad es igual para todos los receptores.
- La tensión es igual para todos los receptores.

**6.12.** En un circuito paralelo:

- La resistencia equivalente siempre es inferior a la de cualquier resistencia conectada en paralelo.
- La intensidad es igual para todos los receptores.
- La tensión es igual para todos los receptores.

**6.13.** Calcula la resistencia equivalente al circuito de la Figura 6.33, así como la corriente y potencia que cedería una fuente de alimentación de  $200\ \text{V}$  conectada entre los extremos del mismo.

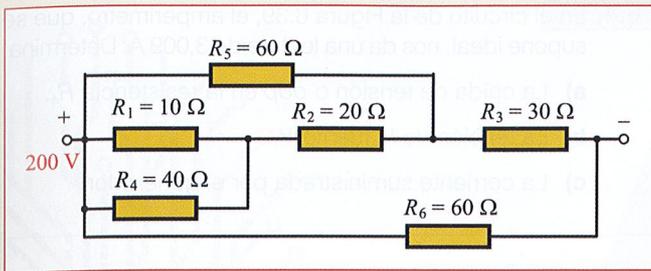


Figura 6.33.

- 6.14. Calcula la tensión, intensidad y potencia de cada una de las resistencias, incluida la total, que aparecen en el circuito de la Figura 6.34.

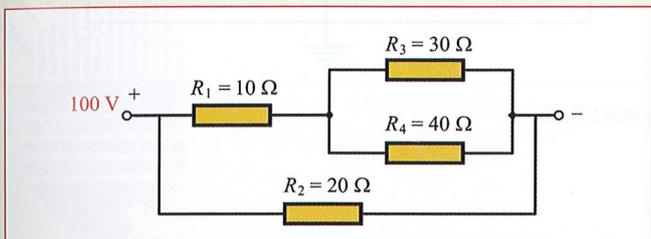


Figura 6.34.

- 6.15. Calcula la tensión del voltímetro de la Figura 6.35.

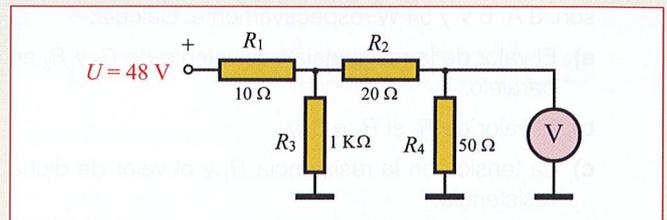


Figura 6.35.

- 6.16. Calcula la tensión e intensidad de cada una de las resistencias, incluida la total, que aparecen en el circuito de la Figura 6.36 si se sabe que la corriente por  $R_2 = 100 \text{ mA}$ .

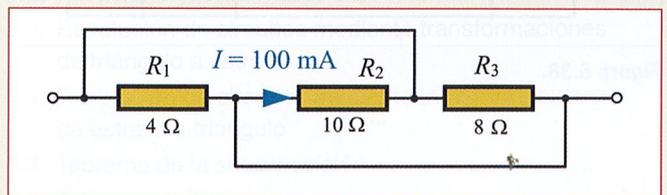


Figura 6.36.

## Actividades de evaluación resueltas



A continuación se dan los enunciados de una serie de actividades de evaluación. Estas actividades las podrás encontrar resueltas accediendo al MATERIAL WEB creado para este texto.

- 6.1. Para decorar un árbol de Navidad se ha comprado una caja de velas eléctricas de colores con las siguientes características nominales para cada vela:  $20 \text{ V}/12 \text{ W}$ .
- ¿Cuántas velas eléctricas hay que montar, como mínimo, en serie, formando un circuito que pueda conectarse a una red de  $220 \text{ V}$ ?
  - ¿Qué intensidad recorrerá este circuito?
  - ¿Cuál es la resistencia de cada vela eléctrica, y la equivalente al conjunto serie de las mismas?
- 6.2. En el circuito de la Figura 6.37(a):
- Calcula la diferencia de potencial entre los bornes de la resistencia de  $100 \Omega$ .
  - ¿Qué tensión mediría un voltímetro de resistencia interna  $100 \Omega$  conectado en paralelo con la re-

sistencia de  $100 \Omega$ , como se indica en la Figura 6.37(b)?

- Determina la diferencia de potencial entre esos mismos puntos si el voltímetro tiene una resistencia interna de  $500 \Omega$ .
- Compara los resultados y comenta las diferencias. Indica las condiciones para que el voltímetro se considere un aparato de medida ideal.

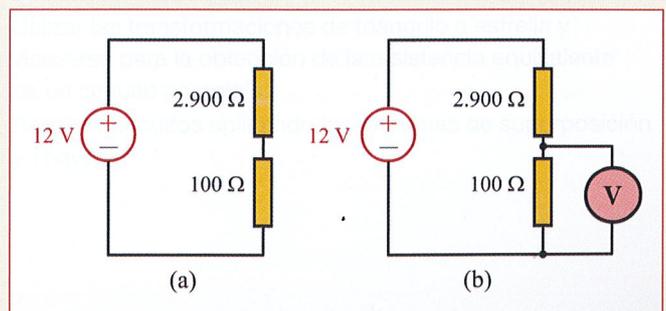


Figura 6.37.

## 6. CIRCUITOS SERIE, PARALELO Y MIXTO

**6.3.** Las indicaciones de los aparatos de medida ideal del circuito de corriente continua mostrado en la Figura 6.38 son: 3 A, 6 V y 54 W respectivamente. Calcula:

- El valor de la resistencia equivalente de  $R_2$  y  $R_3$  en paralelo.
- El valor de  $R_3$  si  $R_2 = 3 \Omega$ .
- La tensión en la resistencia  $R_1$  y el valor de dicha resistencia.
- El valor  $E$  de la fuente de tensión.

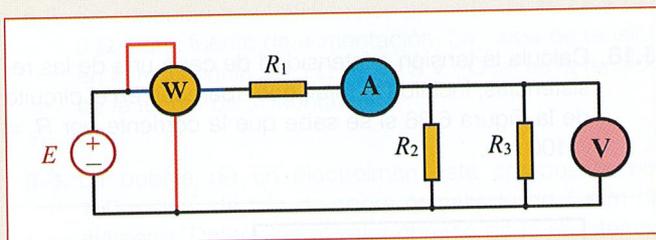


Figura 6.38.

**6.4.** En el circuito de la Figura 6.39, el amperímetro, que se supone ideal, nos da una lectura de 3,009 A. Determina:

- La caída de tensión o *ddp* en la resistencia  $R_4$ .
- La tensión de la fuente  $V_1$ .
- La corriente suministrada por el generador.

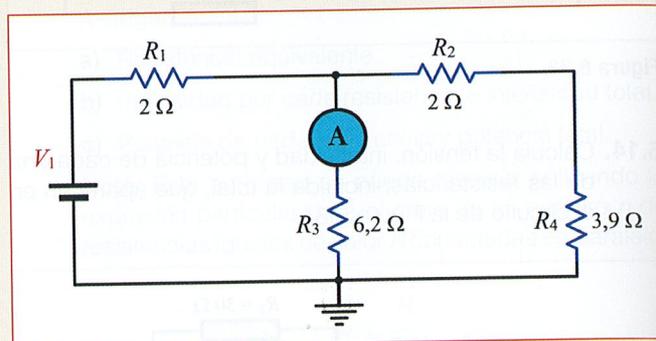


Figura 6.39.

## Actividades de ampliación



Con el fin de conseguir una mayor profundización en la materia, se han incluido los enunciados de una serie de «**actividades de evaluación propuestas de ampliación (6)**» para esta unidad que podrás encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto. Selecciona alguna de estas actividades y encuentra su solución.